

抄 録

—製 鉄—

高炉の通気性制御のための新しい指標

(M. GIULI and M. PALCHETTI: Rev. Métall., 79 (1982) 10, pp. 775~783)

高炉の通気性に影響を及ぼす装入物分布、粒度偏析、原料の熔融特性および羽口への燃料吹き込みなどの要因について検討した。とくに高炉軟化融着帯の通気性を改善するためには原料の冶金学的特性値のばらつきを減少させる必要がある。酸性原料は一般的に軟化開始温度が低く、またこれは被還元性とも強い相関関係にあるため、もし酸性と塩基性の原料が共存すると軟化融着帯の幅が大きくなり通気性は悪化する。

また溶剤に関しては、半径方向の良好な分布を得ることが困難なため、半径方向の初期スラグ特性に偏りが生ずる可能性がある。したがって原料の調整により、できるだけ溶剤使用量を制限し、また初期スラグ生成温度で反応性の高い溶剤を使用することが良く、ドロマイトよりもオリビンが適当であると提案している。

さらに羽口への重油吹き込み量 50 kg/t-pig を基準 (風温 1200°C, 温分 7.9 g/Nm³) にし、オールコークス操業時の I : 風温一定で 41.4 g/Nm³ に加湿した場合および II : 湿分一定で風温を 1000°C に低下させた場合につき効果を試算した結果、I および II のコークス比は基準に比べてそれぞれ 5 および 8% 増大することを示している。

具体的なアクションの効果はつぎのとおりであった。焼結鉱 45%, ペレット 45%, 塊鉱石 10% を使用しているイタリア Piombino No. 4 高炉で中心流指向の装入物分布制御、軟化開始温度の低い酸性ペレットの塩基性ペレットへの切り替え、珪石装入の中止ならびにドロマイトからオリビンへの切り替えなどの操作により、燃料比を 488 から 474 kg/t-pig へ、また生産性を 4677 から 5230 t/d に改善できた。(前川昌大)

高炉操業における補助燃料吹き込みの効果

(I. F. KURUNOV and V. A. PITATELEV: Steel USSR 11 (1981) 10, pp. 551~557)

高炉に補助燃料を吹き込んだ場合の炉内還元状態への効果を技術的に解析し、その経済性について検討している。

高炉への補助燃料 (天然ガス、コークス炉ガス、重油、石炭) の吹き込みによるコークスの節減率は、燃料の化学成分とコークス中のカーボン量、および炉内の還元効率によつて決まる。この還元効率は高炉の数学モデル (リスト・モデル) により推算している。

高炉操業における補助燃料の経済的效果を解析した結果、いかなる還元効率のときにも最も有利なプロセス燃料は、粉炭であった。還元効率の高い高炉に石炭を吹き込んだ場合、銑鉄生産コストは石炭 1 kg 当たり、0.81~3.15 kopecks/t-pig (317~1235 円/t-pig) 低下できる。この効果はソ連の北東部で最も低く、ヨーロッパに

近い南部で最高となる。

石炭ダストの吹き込みは、天然ガス吹き込みに比して 1.4~2.7 倍の経済的效果があるが、西シベリアで、石炭ダストを吹き込むことは、経済的に不利である。ウラル地方で最大の効果があり、ソ連南部のヨーロッパ地域とソ連中央地域で最小となる。また重油吹き込みに対しては 1.5~15.6 倍の効果がある。

これらの結果からソ連では、燃料やエネルギーの国内での分散状態とコークスの不足という観点から、高炉へは石炭ダストを大量に吹き込む技術を進展させることが得策であると結論している。(小野玲児)

—製 鋼—

鉄/フッ化カルシウム電極における電流交換の観察—ESR 法における電流交換のモデル実験

(N. NOWACK, et al.: Arch. Eisenhüttenwes., 53 (1982) 12, pp. 463~468)

ESR 法において起きる電気化学過程を定量的に理解するために、1450°C で純鉄るつぼ中に溶解した CaF₂ および CaF₂-10%CaO スラグ中に鉄電極を浸漬し、直流、交流を用いて電位-電流極線をそれぞれ求めた。

直流を用いた場合、電流密度が高い領域では、かなりの過電圧が生ずるが、CaO を添加することにより減少する。電流密度の低い領域では、過電圧は CaO 濃度の影響を受けず、FeO 濃度の減少にともなつて急激に増大する。このことから、低電流密度域のアノードおよびカソード反応は $Fe \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2e^-$ であると言える。この反応を用いて、過電圧を理論的に予測することができた。また、分極はスラグの FeO 濃度に強く依存しており、実験結果から求めた限界電流密度 (i_l) と、スラグの FeO 濃度との間には (1) 式のような比例関係が成立し、本実験条件下で

$$i_l = 0.205(\text{wt}\% \text{FeO}) \dots\dots\dots (1)$$

の Fe²⁺ イオンの物質移動係数は $2.9 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ であつた。

交流を用いた場合、電位-電流曲線は、直流の場合に比べて低電位側に移行する。過電圧は周波数および、スラグ中 FeO 濃度の増加にともなつて減少し、非常に高い周波数 (50 kHz) では、分極は無視できるほど小さくなり、電圧と電流の直線関係が高電流密度まで成立する。ESR で通常用いられている周波数では、Fe²⁺ の濃度勾配は境界層内のみに存在している。この考えに基づいて、Fe²⁺ イオンの拡散係数を求めたところ、CaF₂-0.26%FeO スラグでは、 $7.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ であつた。

(伊藤久久)

EMK 測定に基づく真空処理された深絞り用鋼の Al 脱酸

(H. GERDOM, et al.: Stahl Eisen, 102 (1982) 24, pp. 1229~1231)

Krupp Stahl AG, Rheinhausen 工場の第 2 製鋼工場は、300 t LD 転炉と、2-ストランドスラブ連铸機 2 基

を有し、深絞り用低炭 Al キルド鋼を量産している。深絞り用鋼は、 $C < 0.05\%$ でリムド出鋼し、DH 真空脱ガス装置で 0.008% まで脱炭した後、Al 脱酸と合金添加を行う。

Al 添加と調節は、EMK 測定に基づき以下の方法で行われる。脱酸所要 Al 量と、スラグや大気中の酸素との二次的反応による Al 損失量の和は、真空脱炭後に測定した鋼中酸素活量と良い直線関係がある。したがって、Al 添加量は、EMK を測定し、この直線関係を使って決められる。

取鍋中の最終 Al 濃度は、Al 添加後 10 回の吸引、排出を繰り返して溶鋼を均質化した後、EMK 測定によってチェックされる。その酸素活量測定値は、Al 分析値に対して SCHENCK と STEINMETZ の Al 脱酸平衡式から求めた計算値より、平均 1 ppm 高い。これは、Al 分析値がトータル Al 濃度であるため、および、平衡計算に C, Mn の影響を考慮しなかつたためである。

脱酸後の酸素活量測定値が 4.5 ppm 以下であれば、製品 Al 濃度は下限値 0.03% を下回ることはない。また、連铸スラブの Al 濃度適中率は、命令 Al 濃度 $0.03 \sim 0.07\%$ 、 $0.03 \sim 0.05\%$ (許容上限 0.06%) でそれぞれ、 99.98% 、 75% (99.98%) である。

以上の EMK 測定に基づく Al 濃度のコントロール法により、処理後の Al 分析を必要とせずに、狭い範囲に Al 濃度を調節することが可能となつた。

(原 義明)

— 鑄 造 —

固液共存域を考慮した方向性凝固の解析関数解

(J. LIPTON et al.: Arch. Eisenhüttenwes., 53 (1982) 12, pp. 469~473)

固液共存域の存在、鋳片表面から冷却水までの鋳型系の熱抵抗を考慮して、解析関数による一次元の凝固の解析法を立てた。固相、共存層、液相の各領域ごとに、物質定数は一定とした。凝固潜熱は凝固温度域で温度低下と比例して放出されると見なし、共存層の比熱として組み入れた。各領域 ($i=1$: 固相域, $i=2$: 共存域, $i=3$: 液相域) の温度 T_i は、一次元伝熱のフーリエの式を解くことにより、鋳片表面からの距離 x と時間 t の関数として表示される。

$$T_i = A_i + B_i \operatorname{erf} \left\{ \frac{(x + L_0)}{2\sqrt{a_i(t + t_0)}} \right\} \dots \dots (1)$$

ここで a_i は熱拡散定数、 A_i 、 B_i は後に定める定数である。鋳片表面と冷却水の間には厚み L_0 の余分の物質を仮想し、鋳型系の熱抵抗をこれに置き換えた。固相線位置 S_S 、液相線位置 S_L ではそれぞれ固相線温度 T_S 、液相線温度 T_L の一定温度であるから、(1) 式の誤差関数の中の値は一定 (ϕ_1 , ϕ_2) でなければならないので次式が導かれる。

$$\phi_1 = (S_S + L_0) / 2\sqrt{a_1(t + t_0)} \dots \dots \dots (2)$$

$$\phi_2 = (S_L + L_0) / 2\sqrt{a_2(t + t_0)} \dots \dots \dots (3)$$

A_i 、 B_i ($i=1 \sim 3$)、 ϕ_1 、 ϕ_2 の 8 個の未知の定数は $x = -L_0$ で $T_1 = T_0$ (冷却水温度); $x = S_S$ で $T_1 = T_S$, $T_2 = T_S$; $x = S_L$ で $T_2 = T_L$, $T_3 = T_L$; $x \rightarrow \infty$ で $T_3 = T_P$ (注湯温度): かつ、 $x = S_S$ および $x = S_L$ で熱流束が連続であることより定めた。 t_0 は $t=0$ (凝固開始時) で鋳片

表面温度が T_L となるように定め、 L_0 は $t=0$ で仮想物質内の固相線上での熱流束が鋳型系の総括熱伝達係数 h から計算される値 $h(T_L - T_0)$ に等しくなるように定めた。

この方法を用いて解析した結果は著者らが Al-4.5% Cu 合金の一方向凝固試験で行つた鋳塊内の測温結果およびディップスティック法で測定した凝固層厚みとよく一致し、また、有限差分法を用いて計算した結果ともよく一致した。さらに、LAIT らの SUS 304 の連铸で、鋳型から放射性元素を入れて測定した凝固プロファイル、および表面温度の計測値ともよい一致をみた。

(松宮 徹)

— 性 質 —

低合金鋼における P の偏析の速度論的挙動におよぼす Mn の影響

(J. F. SMITH, et al.: Met. Sci., 16 (1982) 9, pp. 431~434)

本研究は、 $0.71\text{Mn}-0.005\text{P}$ と $0.20\text{Mn}-0.006\text{P}$ を含む 2 種の $3.5\text{Ni}-1.5\text{Cr}-\text{Mo}-\text{V}$ ロータ鋼 (0.7Mn 鋼, 0.2Mn 鋼とする) の焼もどし脆性における Mn の役割を決定するため、AES を用いて粒界偏析に関して定量的に調べた。

熱処理は、マルテンサイトおよびベイナイト組織を得るよう冷却後 610°C 、30 h 焼もどし、脆化処理は、 475°C 、 500°C と 525°C の各温度で 5-200 h の保持とした。

粒界に P, Ni の偏析が認められ、P の偏析は 3 原子層内に局在した。P の粒界濃度は、保持温度の上昇、保持時間の経過につれて増加したが、平衡に達しなかつた。SEAH の解析を用いて、P の平衡時での粒界濃度 (X_P) を理論的に算出し、 X_P-T (温度) 曲線を求めた。この理論値は、SEAH の理論値と良く一致したが、 $3.5\text{Ni}-1.7\text{Cr}-0.06\text{P}$ 鋼に関する MULFORD らの実験結果と 500°C 以下で大きなずれを生じた。これは、MULFORD らの鋼の焼もどし時間が短いため、炭化物として固定されていない Cr が多く存在し、この Cr が P の偏析に影響をするためと考えられる。本鋼の Cr は炭化物として固定されていると考えられるので、Ni-P の相互作用のみが P の偏析の特性を支配すると仮定する。それ故、保持温度における P の平衡粒界濃度を X_P-T 曲線上の X_P とする。さらに、Mn は P の平衡粒界濃度に影響しないと仮定する。

この仮定のもとにおいて、P の偏析の速度論的挙動を明らかにするため、MCLEAN の解析による一定温度における時間による粒界濃度変化を表す方程式と AES による P の粒界偏析の測定値が一致するように P のバルク拡散係数 (D) を選定し、 0.2Mn 鋼と 0.7Mn 鋼の D ($D_{0.2\text{Mn}}$ 、 $D_{0.7\text{Mn}}$ とする) の温度依存性を以下のように明らかにした。

$$D_{0.2, \text{Mn}} = 0.88 \exp(-50600/RT)$$

$$D_{0.7, \text{Mn}} = 0.15 \exp(-47100/RT) \quad (R: \text{ガス定数})$$

この結果と GREAZIN と MURAL の結果との比較により、純鉄の D と Fe-1.9Mn 鋼における D の値の間に $D_{0.2\text{Mn}}$ 、 $D_{0.7\text{Mn}}$ の値が位置した。以上のように、Mn

が Fe 中における P の易動度を高める作用をすることが実証された。(吉田和彦)

Fe/Cr/C をベースにした構造用鋼の強度と靱性を改善するための最適条件

(M. SARIKAYA, et al.: Metall, Trans., 13A (1982) 12, pp. 2227~2237)

本研究は、熱処理と合金元素添加により微細組織の調整を計り、Fe-Cr-C 構造用鋼の機械的性質を改善するため、またこの鋼の大気溶製鋼と真空溶製鋼の諸性質を比較するために行った。

供試材の主成分は、Fe-0.26C-3.11Cr-1.98Mn-0.01Ni-0.50Mo (鋼1), Fe-0.25C-3.01Cr-0.08Mn-2.00Ni-0.51Mo (鋼2), 熱処理は、900°C, 1h オーステナイト化 (A.T.) → 油冷 (O.Q.) 処理, 1100°C, 1h A.T. → O.Q. → 200°C~600°C, 1h 焼もどし (T.T.) → 水冷 (W.Q.) 処理 (H.T.I 処理), 1100°C, 1h A.T. → O.Q. → 900°C, 1h A.T. → O.Q. → 200°C, 1h T.T. → W.Q. 処理 (H.T.II 処理), 1100°C, 1h A.T. → O.Q. → 200°C, 1h T.T. → W.Q. → 900°C, 1h A.T. → O.Q. → 200°C, 1h T.T. → W.Q. 処理 (H.T.III 処理) とした。熱処理後、Vノッチ衝撃試験、平面ひずみ破壊靱性試験、引張試験、および微視組織と破面観察を行った。また、X線分散型分析によつて

半定量的に介在物を分析した。

前研究の Fe-4Cr-0.35C 鋼と比べ、本鋼は Cr が 4% から 3% に減少し、0.5%Mn を添加しているが、機械的性質、微細組織の特徴はほとんど変化しなかつた。焼入組織は、互いに平行なラスから成るパケットとラス間のフィルム状の残留オーステナイトの混合組織であつた。またラス中に微細双晶と自己焼もどし炭化物 (鋼1ではウィドマンステッテンセメントタイト, 鋼2ではε炭化物) が観察され、微細双晶の量は鋼1より鋼2の方が多かつた。

真空溶製と比較して大気溶製は、鋼1の靱性を劣下させないが、鋼2の靱性を劣下させた。これは、大気溶製の鋼2は鋼1より多くの介在物 (NiO) を含むためと考えられる。

H.T.I 処理において、ラス間の残留オーステナイトの分解 (300°C~400°C) に対応し、焼もどし脆性が生じた。

H.T.II 処理, H.T.III 処理の2重熱処理によつて、強度、靱性は改善された (H.T.II 処理において、残留オーステナイトの増加のため、強度はわずかに減少した)。これは、2重熱処理によつて炭化物を含まず均一で、細粒なオーステナイト粒の効果によるものであつた。(吉田和彦)

コラム

溶質原子の大きさはどうして測る?

溶質原子の大きさが溶媒原子の大きさより 10% 以上食い違ふと固溶限が小さくなるとか、固溶原子が転位の応力場と作用して力学的性質に影響をもたらすとか、専門の道に入つてからいろいろ教わつて来た。ここ 10 年位圧延や潤滑や力学的解析などの分野で研究するようになってあまりよく分からなくなつて来たこの頃だが、日頃表題に関して教えていただきたいと思つているので「公開」質問をさせていただきたいと思ふ。

私が知つている最後の算定法は、溶媒原子の半径 (これを格子定数で代表して a_0)、溶質原子のそれを a_1 とすると、回折で定まる濃度零へ外挿した格子定数の変化 $(da/dc)_{c \rightarrow 0}$ 、 c : 原子数比を実験的に定めて $a_1 = a_0 + (da/dc)_{c \rightarrow 0}$ とする、R. L. FLEISCHER の方法である。しかし、私にはこの方法で a_1 が定められるとは合点がいけない。彼のモデルは、X線回折の情報に格子定数分布の相加平均であるということが正しい前提である限り正しいが、線型近似が許される希釈溶液の

状態ではこのモデルは物理的に正しくないように思ふがいかがなものであろうか。ちなみに、もし a_1 の大きな溶質原子のまわりは圧縮ひずみ場になるので、その辺では格子定数は小さくなるはずである。そうすると $(da/dc)_{c \rightarrow 0}$ が負の方にでもおかしくないのではないだろうか。現在の up-to-date の溶質原子の大きさの測り方はどのような方法によるのか是非教えていただきたいものである。

また、R. L. FLEISCHER は溶質原子のまわりの剛性率 μ_1 を同じように $\mu_1 = \mu_0 + (d\mu/dc)_{c \rightarrow 0}$ で定めることを提案した。しかしこれは一次元モデルですぐにわかるように、バネが並列にならんでいる時のみ正しく、一般には間違つているのである。このあたりのこともあわせてどなたかにやさしい解説を書いていただけたら幸いである。金属電子論が素人向けに絵解きしてくれる問題ではないかと思つている。もう一つ、鉄のマルテンサイト中の炭素はイオンコアの状態電子をマトリックスに出しているのかどうか、出しているとすれば何価なのかということもついでに知りたいものである。(東京大学工学部 木原諄二)